第30卷 第7期
2016年7月
材 料 研 究 学 报
CHINESE JOURNAL OF MATERIALS RESEARCH
Vol. 30 No. 7
July 2016

不同修复材料与天然牙釉质和牙本质之间的摩擦磨损性能

李晨曦[1] 梁锐英[1] 任 婧[2] 王景坤[1] 徐艳丽[1] 孟 贺[1] 孙 硕[1]

1. 华北理工大学口腔医学院 唐山 063000
2. 清华大学摩擦学国家重点实验室 北京 100084

摘 要 以高度抛光的玻璃陶瓷、聚合瓷、氧化锆、纯钛为摩擦副, 模拟口腔环境, 使用微摩擦磨损实验机进行天然牙釉质和牙本质的摩擦磨损实验。用扫描电镜观察表面形貌、用粗糙度仪测粗糙度、用维氏硬度仪测表面硬度、用电子天平测磨损量, 研究了天然牙釉质和牙本质与不同修复材料之间的摩擦磨损性能。结果表明, 釉质和牙本质分别与四种材料对磨后的磨损量与对照组均有统计学差异(P<0. 05), 对磨物的磨损量与四种材料及釉质、牙本质的硬度值呈显著正相关关系。其中牙本质与聚合瓷对磨后的磨损量与牙本质对照组最接近, 釉质与玻璃陶瓷对磨后的磨损量与釉质对照组最接近。

关键词 口腔修复材料, 摩擦磨损实验, 耐磨损性能, 釉质, 牙本质

分类号 R783.1　　文章编号 1005-3093(2016)07-0489-07

Comparative Study on Friction Properties of Different Dental Restorative Materials against Natural Tooth Enamel and Dentin

LI Chenxi[1] LIANG Ruiying[1*] REN Jing[2] WANG Jingkun[1] XUN Yanli[1] MENG He[1] SUN Shuo[1]

1. School of Stomatology, North China University of Science and Technology, Tangshan 063000, China
2. Tsinghua University, State Key Laboratory of Tribology, Beijing 100084, China

Manuscript received September 7, 2015; in revised form November 25, 2015.

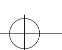
*To whom correspondence should be addressed, Tel: 15133918002, E-mail: lry110@126.com

ABSTRACT The friction and wear behavior of the natural tooth enamel and dentin in sliding against a highly polished glass ceramic, polymer ceramic, zirconia and pure titanium respectively were investigated through a fretting friction and wear testing in an artificial saliva test environment by UMT-2 friction and wear testing machine. While the worn surface morphology was observed by scanning electron microscopy (SEM), the roughness was measured by roughness instrument and the abrasion loss was weighed by an electronic balance. The results show that after friction and wear testing, the abrasion loss of the enamel and dentin against the four kind of materials all showed a statistically difference within P < 0. 05, which possessed significant positive correlation with the hardness of the four kinds restoration materials, the enamel and the dentin. The mass loss of the dentin against poly ceramic and the enamel against glass ceramic was the closest ones to that of the control group of the dentin.

KEY WORDS dental restorative material, friction and wear test, wear resistance, enamel, dentine

随着口腔材料学的发展, 越来越多性能优良的修复材料应用于临床。理想的口腔修复材料的硬度、色泽和通透性应该与天然牙相似, 尤其是其磨损性能。在咀嚼过程中, 冠修复体会使自身及对颌天然牙产生一定程度的磨耗, 过度磨损牙体组织造成釉质脱落、牙本质过敏、牙髓炎和颞颌关节紊乱等疾病, 过度磨损冠修复体则会缩短其使用寿命。目前临床常用的冠修复材料有金属、陶瓷、树脂等材料[1]。口腔咀嚼食物发生摩擦运动时咬合力、温度、唾液、pH等因素的变化, 均对修复材料和天然牙的耐磨性产生重大影响。材料的物理性能、修复体的使用时间等与磨耗程度也有密切的关系。釉质、牙本质的硬度和结构的差异使同种修

2015年9月7日收到初稿; 2015年11月25日收到修改稿。
本文联系人: 梁锐英
DOI: 10.11901/1005.3093.2015.490



复材料对釉质和牙本质造成不同的磨耗, 不同修复材料对牙体组织产生的磨耗程度也不同。以往的研究多用滑石瓷替代釉质作为实验对照, 且材料只与釉质对磨, 与临床情况有一定的不同。本文以天然牙釉质和牙本质牙尖为研究对象, 模拟口腔环境, 选取纯钛、氧化锆、玻璃陶瓷、聚合瓷四种材料与天然牙对磨, 研究其摩擦磨损特征。

1 实验方法

1.1 实验用材料和设备

材料: 纯钛金属(BEGO), 氧化锆, 玻璃陶瓷(VITA), 聚合瓷, 环氧树脂, 两周内拔除的天然牙(表面无磨耗, 无龋坏, 无脱矿现象), 应用ISO/ TR 10271标准制备人工唾液(成分: NaCl: 0.4 g; KCl: 0.4 g; $CaC_{l2}\cdot 2H_2O$: 0.795 g; $NaH_2PO_4\cdot H_2O_2$: 0.78 g; $Na_2S\cdot 9H_2O$: 0.005 g; Urea: 1 g; Distilled Water: 1000 g)[2]。

设备: 微摩擦实验机(UMT-2, CETR, USA), 粗糙度仪(MarSurf M 300 C + RD 18 C, Mahr GmbH), HVS-50Z型自动转塔数显维氏硬度仪, 扫描电子显微镜(S-4800), 抛光用金刚砂磨头(DFS), 电子天平, 超声振荡清洗器。

1.2 试件的制备和分组

选取因正畸拔除的未磨耗双尖牙或未萌出的第三磨牙, 拔除后立即放入生理盐水中并保存在4℃的冰箱中[3]。磨取釉质和牙本质牙尖各50个作为实验上试件, 釉质牙尖包埋于红色的环氧树脂, 牙本质包埋于白色环氧树脂中。

按照实验机的要求将上试件制作成直径3.1 mm, 高12 mm的销形试样[3], 对磨牙尖接触端为至少0.5 mm小平面, 齿科专用抛光轮由粗到细依次抛光, 超声震荡清洗后, 保存于生理盐水中。

下试件实验组包括纯钛, 氧化锆, 玻璃陶瓷, 聚合瓷各20个, 规格为15×10×5 mm的平面试件; 对照组包括片切天然牙颊侧釉质及牙本质各10个, 厚度不小于2 mm, 包埋于环氧树脂中, 规格与实验组的相同, 暴露天然牙至少5×5 mm平面。将所有下试件用200-600目碳化硅砂纸依次打磨后, 分别用专用抛光磨头抛光至最小粒度, 超声清洗后备用[3]。

将釉质及本质牙尖随机分为5组(n=10), 用不同颜色指甲油标记为ABCDE, 从每组随机抽取一个试件置于同一个容器中(共十个容器1-10)。将同种材料的下试件随机分为2组(n=10), 用不同颜色指甲油标记为釉质组、本质组, 依次在每组试件侧面用高速手机标记1-10, 对照组的标记与实验组的相同。

1.3 实验方法

1.3.1 *硬度的测量* 用HVS-50Z型自动转塔数显维氏硬度仪测量釉质、牙本质、玻璃陶瓷、聚合瓷、氧化锆、纯钛的表面显微硬度。负荷为98 N, 时间为15sec, 在每种材料的表面选10个点测量, 取10个测量值的平均值作为该材料的硬度值。

1.3.2 *粗糙度的检测* 用MarSurf粗糙度仪测量釉质、牙本质、玻璃陶瓷、聚合瓷、氧化锆、纯钛的表面粗糙度。扫描长度Lt=4.0 mm, 截止波长0.800 mm, 取样长度n=5。在每个试件抛光面的中心区域测十次, 取其平均值为该试件的表面粗糙度, 再取十个试件的粗糙度平均值作为该材料的粗糙度。

1.3.3 *摩擦实验* 使用微摩擦实验机(UMT-2, CETR, USA)进行销盘式往复摩擦实验[4], 测试天然牙釉质、牙本质分别与玻璃陶瓷、聚合瓷、氧化锆、纯钛的摩擦磨损性能。有无人工唾液介质对摩擦实验的结果影响很大, 因此在实验中用人工唾液浸润。正常人咀嚼时上下对颌牙的滑动距离约为0.9-1.2 mm[5], 本文设计垂直载荷为15 N, 摩擦运动方式为往复运动, 位移幅度1 mm, 频率2 Hz, 循环次数6000次。用计算机控制并记录实验过程中表面摩擦力与位移在不同循环次数下的变化, 以得到摩擦系数(cof)等参数的变化曲线[6]。

1.3.4 *质量损失* 将所有上试件置于蒸馏水中清洗10 min, 用无水乙醇和丙酮交替冲洗三次, 用冷风吹干后用电子天平测量质量(精确至0.001 mg), 实验后用相同程序称质量, 计算质量损失量。

1.3.5 *电镜扫描表面形貌* 用扫描电镜观测釉质、牙本质磨损实验前后牙尖表面磨斑的微观形貌。

1.3.6 *统计学分析* 使用SPSS17.0软件包分析实验数据, 对材料粗糙度、硬度及对磨牙尖质量损失量进行单因素方差分析和两两比较。分析材料引起的釉质、牙本质牙尖磨损量与硬度之间的关联性。检验水准α= 0. 05。

2 结果和讨论

2.1 试样的粗糙度和硬度

测量结果如图1所示, 图中所示为各组粗糙度均值, 可见实验组的粗糙度均显著高于对照组, 对各实验组粗糙度的单因素方差分析及两两比较结果表明, P>0.05, 没有统计学差异, 材料表面的粗糙度没有差异。

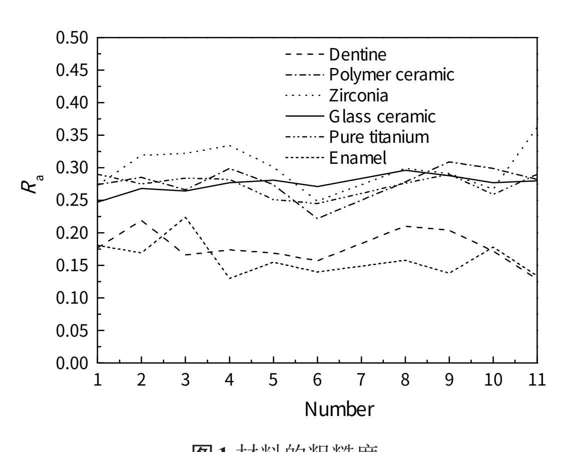


图1 材料的粗糙度
Fig.1 Roughness of materials

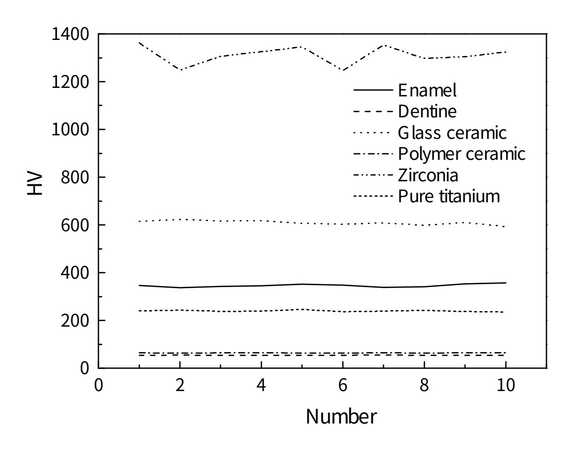
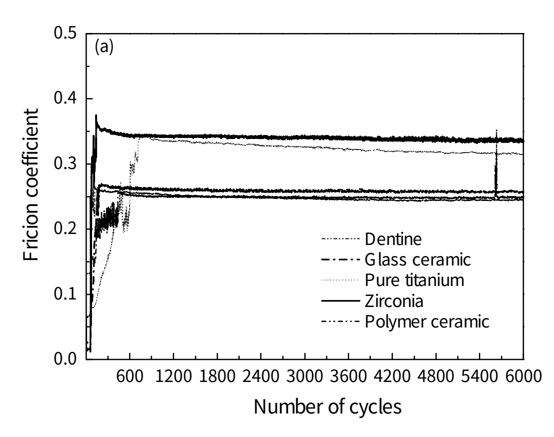


图2 材料的硬度
Fig.2 Hardness of materials

由图2可见, 试件的硬度由小到大依次为牙本质、聚合瓷、纯钛、釉质、玻璃陶瓷、氧化锆。聚合瓷与牙本质的硬度最接近, 纯钛的比釉质略低, 玻璃陶瓷的略高于釉质, 氧化锆的显著高于其他材料。材料的硬度表示其抗弹性形变的能力, 是耐磨性的重要影响因素。硬度与材料磨损量之间呈一定的正相关关系, 硬度越高的材料越耐磨, 因此修复材料应该有与天然釉质及牙本质相近的硬度[7]。

2.2 磨损性能

2.2.1 *摩擦系数* 摩擦系数(cof)是指两表面间的摩擦力与作用在其一表面上的垂直力之比值[8]。基于人体口腔生理环境的特性, 口腔修复材料与天然牙组成磨擦副, 耐磨性是否匹配对摩擦副的正常行使功能有重要的意义。口腔修复材料应具有与天然牙尽可能接近的磨耗性能, 即耐磨性低于天然牙, 但又与其接近[9]。cof作为反映材料摩擦学性能的一项参数, 其值越小表明摩擦性能越好, 已知cof与材料接触面粗糙度有关, 指导临床调磨修复体后应进行高度抛光, 降低其cof, 减少对颌牙及修复体的磨损[10]。本文的实验模拟口腔环境在常温人工唾液浸泡下进行摩擦实验, 所得摩擦系数如图3所示。



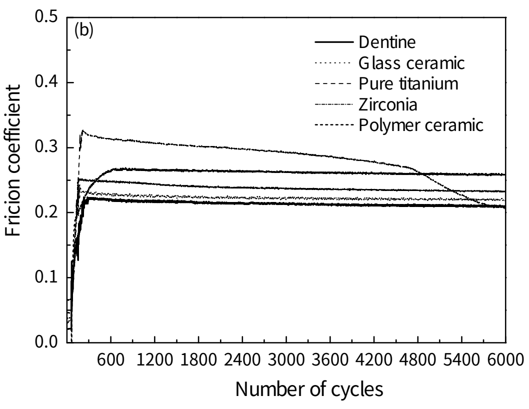


图3 本质各组(a)和釉质各组(b)的摩擦系数
Fig.3 Friction coefficient of dentine (a) and enamel (b)

2.2.2 *质量损失* 表1给出了釉质、牙本质牙尖与不同材料对磨后的质量损失量。可见牙本质组中牙尖的质量损失由大到小依次为氧化锆组、纯钛组、玻璃陶瓷组、聚合瓷组、牙本质组, 其中聚合瓷组与牙本质组最相近; 釉质组中牙尖的质量损失由大到小依次为氧化锆组、玻璃陶瓷组、釉质组、纯钛组、聚合瓷组, 其中玻璃陶瓷组与釉质组最接近, 纯钛组略低于釉质组。

表2给出了釉质、牙本质及四种材料的硬度、粗糙度。使用SPSS17.0软件包对实验组粗糙度进行单因素方差分析及两两比较[11], 结果表明$P > 0.05$, 四种材料间没有统计学差异。对牙本质、釉质及四种材料的硬度进行单因素方差分析及两两比较, 表明$P < 0.05$, 材料的硬度不完全相同。对牙本质组的牙尖质量损失量进行单因素方差分析, 表明$P < 0.05$, 差异具有统计学意义, 即五组材料间的质量损失量不完全相同, 两两比较可得牙本质和聚合瓷组之间的p值> 0.05, 即两组间的质量损失差异不具有统计学意义。对釉质组进行单因素方差分析, 表明$P < 0.05$, 五组材料间的质量损失量不完全相同, 两两比较结果牙釉质和纯钛组、牙釉质和玻璃陶瓷组之间的p值> 0.05, 即其差异没有统计学意义。

表1 牙尖质量损失量

Table1 Wear loss of tooth cusp (mg)

Group	Wear loss of dentine cusp (mg)	Group	Wear loss of enamel cusp (mg)
Dentine	0.364±0.0171270	Enamel	0.308±0.0690893
Glass ceramic	0.490±0.0447214	Glass ceramic	0.320±0.0339935
Polymer ceramic	0.368±0.0293636	Polymer ceramic	0.170±0.0258199
Zirconia	0.812±0.0418463	Zirconia	0.562±0.0367575
Pure titanium	0.720±0.0258199	Pure titanium	0.272±0.0355278

表2 材料硬度及粗糙度

Table 2 Hardness and roughness of materials

Group	Hardness of materials (HV)	Roughness of materials (*Ra*)
Dentine	54.11±0.8293	0.17770±0.026874
Enamel	609.52±9.3542	0.27490±0.013536
Glass ceramic	609.52±9.3542	0.27490±0.013536
Polymer ceramic	64.09±0.4557	0.27880±0.024068
Zirconia	1311.83±39.9536	0.28170±0.033859
Pure titanium	239.72±3.4071	0.27420±0.016772

研究结果表明, 材料的硬度越大对天然牙的磨损越严重[12], 因此对四种材料引起的对磨物的质量损失量与材料硬度之间进行关联性分析。牙本质组r=0.746, 为中度相关, P=0.147, ＞0.05, 表明相关不显著, 硬度与质量损失之间有一定的正向趋势。釉质组r=0.979, ＞0.8, P=0.004, ＜0.05, 表明相关性显著, 可见硬度与质量损失之间有高度的正相关性, 即随着硬度的增加质量损失量随之增加。

2.2.3 *磨损形貌*　图4(A-E)给出了牙本质与各组材料对磨前后的表面微观形貌; 图5(a-e)给出了釉质与各组材料对磨前后的表面微观形貌。图4A表面有明显的塑性变形, 有沟槽状划痕, 提示疲劳磨损为其主要磨损类型, 伴有一定程度的磨粒磨损。图4C表面磨斑比较光滑, 呈现出龟裂和组织的片状剥离, 提示疲劳磨损为其主要的磨损类型。图4BDE表面的磨斑清晰, 呈现明显的犁沟和碎屑。在犁沟间可见裂纹和片状剥脱, 表明磨粒磨损是其主要的磨损形式, 还伴有疲劳磨损[13]。图5a表明牙釉质局部区域有明显的塑性变形, 显微形貌呈现大量疲劳裂纹, 裂纹扩展, 生成片状剥离, 并有沟槽状划痕, 脱落的颗粒发生了一定的塑性变形, 表明磨损主要为疲劳磨损, 同时伴有黏着磨损和磨粒磨损[14]。图5b表明表面发生了片状剥离, 有些区域发生塑性变形后, 出现断裂, 提示磨损机制主要为疲劳磨损和磨粒磨损。图5c显示表面只有轻微的划痕和少量剥脱颗粒, 磨损面比较光滑, 主要发生疲劳磨损。图5d显示表面出现大量犁沟, 内附着大量剥脱颗粒, 提示主要发生磨粒磨损。图5e显示表面磨损出现明显的沟槽状划痕和剥脱碎屑, 提示发生了磨粒磨损和黏着磨损[14-15]。

2.3 磨损机理

对于口腔材料, 工作条件就是人体口腔环境。实验结果表明, 在高应力作用下长时间摩擦磨损运动后, 在釉质及牙本质表面产生疲劳裂纹并扩展, 裂纹上的微粒剥落下来, 在表面形成深浅不同、大小不一的磨斑状凹坑, 脱落下来的微粒可重新压入材料表面, 表面所受的力传至表面下引起表面下分子键的断裂, 发生表面下的微破坏区, 引起表面破坏, 使物体表面发生的磨损为疲劳磨损; 也可在两界面间形成磨损颗粒, 引起表面擦伤, 形成犁沟, 即发生磨粒磨损。当两界面之间有较大的黏着力时, 在运动过程中一种物质表面发生破损, 破损碎屑融合到对方的表面, 即为黏着磨损。由此可见, 在材料与天然牙的磨损过程中几种磨损形式同时存在, 而且一种磨损诱发其他形式的磨损, 或以一种磨损形式为主伴随其他形式的磨损[16]。摩擦学理论表明, 材料的耐磨损性能不是材料的固有属性, 而是与磨损过程的工作条件密切相关的系统性能[17]。评价与天然牙相匹配的口腔材料, 其磨物磨损量应与釉质及牙本质相接近[18]。

图 **4** 牙本质与各组材料对磨前后的表面微观形貌

Fig.4 Wear morphology of materials against dentine tip before and after experiment. (A) dentine cusp of control group, (B) dentine cusp against glass ceramic, (C) dentine cusp against polymer ceramic, (D) dentine cusp against zirconia, (E) dentine cusp against pure titanium

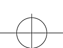
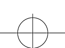


图5 釉质与各组材料对磨前后的表面微观形貌

Fig.5 Wear morphology of materials against enamel tip before and after experiment. (a) enamel cusp of control group, (b) enamel cusp against glass ceramic, (c) enamel cusp against polymer ceramic, (d) enamel cuspagainst zirconia, (e) enamel cusp against pure titanium





3 结　论

在37℃人工唾液中进行实验, 釉质和牙本质分别与四种材料对磨后的磨损量与对照组均有统计学差异(P＜0. 05), 对磨物的磨损量与玻璃陶瓷、聚合瓷、氧化锆、纯钛四种材料及釉质、牙本质的硬度值呈显著正相关关系。其中牙本质与聚合瓷对磨后的磨损量与牙本质对照组最接近, 釉质与玻璃陶瓷对磨后的磨损量与釉质对照组最接近。聚合瓷显示出类似于瓷的一些独特的特性, 其硬度和磨耗性能与牙本质相似。玻璃陶瓷的硬度及磨耗性能与釉质相似。根据对材料硬度及质量损失量之间的关联性分析, 应该临床选取与牙体组织硬度相近或略低的材料作为修复体。

致谢: 感谢清华大学摩擦学国家重点实验室给予的了大力帮助和支持。

参 考 文 献

1 CHEN Shuang, LI Guo qiang, Wear resistance and hardness of dental prosthetics materials versus native teeth, Journal of Clinical Rehabilitative Tissue Engineering Research, **15**(3), 511(2011)
(陈　霜, 李国强, 齿科修复材料耐磨性及硬度与天然牙齿的比较, 中国组织工程研究与临床康复, **15**(3), 511(2011))

2 ZHANG Qian, ZHANG Pei, GUO Tianwen, Friction and wear properties of enamel opposing to dental materials used in dentistry, Chin J Stomatol, **47**(1), 204(2012)
(张　茜, 张　佩, 郭天文, 六种常用冠修复材料的摩擦磨耗性能比较, 中华口腔医学杂志, **47**(1), 204(2012))

3 Takashi Miyazaki, Takashi Nakamura, Hideo Matsumura, Seiji Ban, Taira Kobayashi, Current status of zirconia restoration, Journal of Prosthodontic Research, **57**, 236(2013)

4 H. Y. Yu, Z. B. Cai, P. D. Ren, M. H. Zhu, Z. R. Zhou, Friction and wear behavior of dental feldspathic porcelain.Wear, **261**, 611(2006)

5 Rilo B, Fernandez J, DaSiliva L, J of Oral Rehabilitation, **28**(10), 930(2001)

6 LIU Yihong, WANG Lin, SI Wenjie, TAO Yongqin, QIU Yan, BAO Yiwang, Friction and Wear Behavior of Natural Tooth and Zirconia with Different Surface Treatment, Rare Metal Materiais and Engineering, **40**, 143(2011)
(刘亦洪, 王　琳, 司文捷, 陶永青, 邱　岩, 包亦望, 不同表面处理方法对氧化锆与天然牙磨损性能的影响, 稀有金属材料与工程, **40**, 143(2011))

7 J. Kleczewska, D. M. Bielinski, Friction and wear of resin-based dental materials, Arch Civ Mech Eng, **4**, 87-2007)

8 J. A. Arsecularatne, M. Hoffman, On the wear mechanism of human dental enamel, Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials, **3**, 347(2010)

9 GONG Lei, XIAO Hong, Friction properties of different dental restorative materials and their influential factors, Journal of Clinical Rehabilitative Tissue Engineering Research, **14**(29), 5423(2010)
(龚　蕾, 肖　虹, 不同口腔修复材料摩擦性能的比较及影响因素, 中国组织工程研究与临床康复, **14**(29), 5423(2010))

10 LAN Qiaoying, YANG Jiaxing, YUAN Yi, QIN Feng, Effect of different polishing and glazing techniques on the surface roughness of dental ceramic surface, Chin. J. Stomatol. Res. (Electronic Edition), **5**(3), 280(2011)
(蓝巧瑛, 阳佳兴, 袁　艺, 覃　峰, 不同抛光及上釉方法对牙科陶瓷表面粗糙度的影响, 中华口腔医学杂志, **5**(3), 280(2011))

11 GAO Xiufang, ZHANG Lianyun, Mechanism and evaluation method of dental materials abrasion, International Journal of Stomatology, **35**(1)83, 93(2008)
(高秀芳, 张连云, 牙科材料磨损的机制及其评价方法, 国际口腔医学杂志, **35**(1)83, 93(2008))

12 HU Xin, ZHANG Jie, LIANG Chunyong, LIU Yalin, Influence of loading on friction and wear properties of pure titanium used in dentistry, Chin J Stomatol Res(Electronic Edition), **3**(2), 172(2009)
(胡　欣, 张　洁, 梁春永, 刘亚林, 载荷变化对口腔修复用纯钛摩擦磨损性能的影响, 中华口腔医学研究杂志, **3**(2), 172(2009))

13 Mohammad Atai, Esmaeil Yassini, Maryam Amini, David c, Watts, The effect of a leucite-containing ceramic filler on the abrasive wear of dental composites, Dental Materials, **23**, 1181(2007)

14 ZHENG Kan, LIU Hongjie, LIAO Wenhe, Study on Wear Matching Ability of Dental Prosthesis Against Natural Tooth, Journal of Synthetic Crystals, **43**(4), 954(2014)
(郑　侃, 刘红杰, 廖文和, 口腔修复体材料与天然牙的磨损匹配性研究, 人工晶体学报, **43**(4), 954(2014))

15 SONG Haiyan, LU Ran, SI Wenjie, ZENG Jianyu, Friction and wear behaviors of two kind of dental zirconia ceramics with different level of Y_2O_3 against enamel, Chinese Journal of prosthodontics, **15**(3), 155(2014)
(宋海燕, 卢　燃, 司文捷, 曾剑玉, 两种不同氧化钇含量的牙科氧化锆瓷与牙釉质的摩擦磨损性能, 口腔颌面修复学杂志, **15**(3), 155(2014))

16 ZHANG Jie, HU Xin, LIANG Chun yong, LI Chang yi.Comparative study on wear resistance of the enamel oppositing to four kinds of dental metal materials, Chinese Journal of prosthodontics, **10**(4), 246(2009)
(张　洁, 胡　欣, 梁春永, 李长义, 4种齿科金属材料与牙釉质耐磨损性能的研究, 口腔颌面修复学杂志, **10**(4), 246(2009))

17 Eugeniusz Sajewicz, On evaluation of wear resistance of tooth enamel and dental materials, Wear, **260**, 1256(2006)

18 Lin Wang, Yihong Liu, Wenjie Si, Hailan Feng, Yongqing Tao, Zhizuo Mac, Friction and wear behaviors of dental ceramics against natural tooth enamel, Journal of the European Ceramic Society, **32**, 2599(2012)

